

DISEÑO DE UN NUEVO MÓDULO POSTERIOR PARA EL EXPERIMENTO QUIJOTE (FASE II)

Juan Luis Cano, Enrique Villa, Jaime Cagigas, Luisa de la Fuente, Beatriz Aja, Eduardo Artal, Angel Mediavilla

juanluis.cano@unican.es

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria. Plaza de la Ciencia s/n, 39005, Santander

Resumen- This contribution presents the design of different subsystems developed for the back-end module under construction for the QUIJOTE project phase II. This module is divided into two blocks: one including the RF-gain and filtering stages, and the other with the correlation and detection components. This solution enables independent development and testing which facilitates the design process. Specifically, this document shows an ultra-wideband microstrip attenuator which can be easily modified to vary its attenuation value, a broadband E-plane waveguide power-splitter with excellent performance, two different waveguide architectures for achieving 90° phase shift covering the project bandwidth (26 – 36 GHz), and a video amplifier with adjustable gain that keeps the 1/f noise below limits. The designed back-end module provides improved flexibility regarding last-time modifications that may appear during the project assembly stage.

I. INTRODUCCIÓN

El experimento QUIJOTE es un proyecto radio astronómico terrestre cuyo objetivo principal es la caracterización de la polarización teóricamente existente en el fondo cósmico de microondas [1]. La primera fase de este proyecto, actualmente en su etapa final de instalación en el observatorio del Teide (Tenerife), contempla la puesta en servicio de un instrumento compuesto por cinco receptores en distintas bandas de frecuencia, desde 10 GHz hasta 30 GHz [2]. El objetivo de esta primera fase es tomar las primeras medidas del proyecto y servir de demostrador para los siguientes instrumentos, con mayor número de receptores y objetivos de sensibilidad más ambiciosos.

La segunda fase del proyecto QUIJOTE prevé el diseño e instalación de un segundo instrumento compuesto por quince receptores trabajando todos ellos en banda Ka (26 – 36 GHz), aprovechando los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la primera fase. Estos receptores deberían ser teóricamente copias del canal de la misma frecuencia desarrollado para la primera fase [3] pero, sin embargo, han sido ligeramente modificados para satisfacer nuevos requerimientos, además de incorporar mejoras desarrolladas tras la implementación del primer instrumento. La Fig. 1 muestra el esquema del nuevo módulo posterior (BEM, Back-End Module) diseñado para la fase II. Como elementos estructurales diferenciadores del BEM desarrollado para la fase I, este módulo incorpora un circuito híbrido 180° desarrollado en tecnología microstrip, el cual fue añadido en la parte final de la fase I como módulo independiente [4], y además se ha incluido un circuito desfasador 90° que, junto con el híbrido 180°, permite realizar operaciones de correlación entre las diferentes señales existentes en el sistema para obtener los llamados parámetros de Stokes que definen la polarización de una señal. Finalmente se ha añadido la posibilidad de detectar cuatro señales de forma simultánea, para lo cual se han tenido que desarrollar divisores de potencia dentro de la estructura del módulo.

Este artículo presenta el diseño, y medida en los elementos que ya han sido probados, de estos nuevos bloques incluidos en el módulo de la fase II, así como las mejoras realizadas a los bloques incorporados del módulo de la fase I.

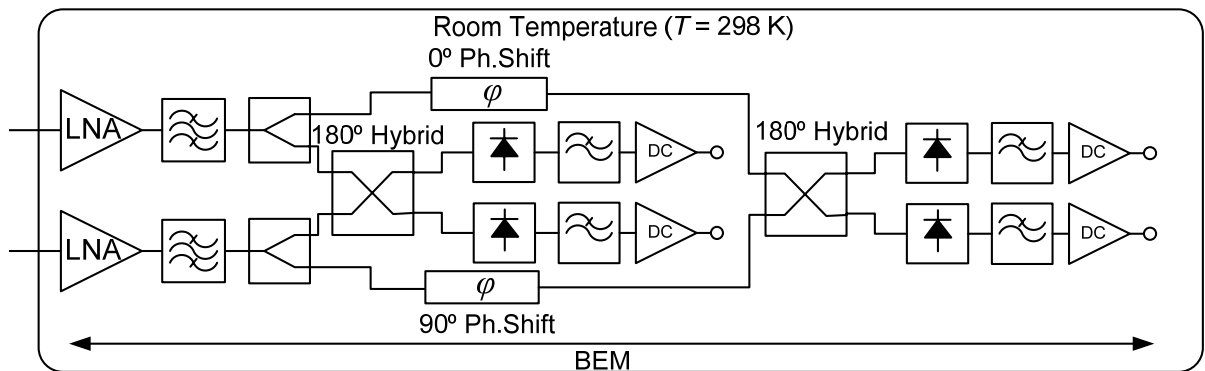


Fig. 1. Esquema del módulo posterior de QUIJOTE fase II.

II. DISEÑO

El diseño del módulo posterior se ha dividido en dos subbloques: el primero contiene la parte de amplificación y filtrado en RF, mientras que el segundo consta del resto de elementos. La razón de hacer esto es poder caracterizar la parte de amplificación de forma independiente, ya que es más propensa a problemas de estabilidad.

Dentro de los problemas que se detectaron en la fase I del proyecto se vio que realizar un módulo posterior con una ganancia en RF de valor fijo hacía al diseño muy rígido frente a variaciones del receptor durante la fase de ensamblado. Por tanto, para esta nueva versión, se ha optado por utilizar dos amplificadores de bajo ruido, modelo AMMC-6241 de Avago Technologies, los cuales proporcionan una ganancia más que suficiente, e incluir un sencillo atenuador entre ambos chips, el cual permite ajustar de forma discreta la ganancia total del conjunto.

A. Atenuador microstrip

Se han diseñado diferentes atenuadores basados en [5] con atenuaciones de 5 dB, 10 dB, 15 dB y 20 dB. Con esto se puede variar la ganancia del módulo posterior entre 20 dB y 40 dB en pasos de 5 dB. Todos los atenuadores se basan en el diseño de una celda básica en T de 5 dB de atenuación, la cual es concatenada en caso de ser necesario. Dentro de esta celda básica, el elemento de la red en T conectado a masa es dividido en dos elementos conectados en paralelo, consiguiendo así reducir la inductancia parásita de los agujeros a masa a la mitad y por tanto aumentar el rango frecuencial de utilización del atenuador. El diseño ha sido realizado en el sustrato RT/Duroid 6020PR ($\epsilon_r = 2.9$, $h = 5$ mils) el cual cuenta con una capa resistiva de $50 \Omega/\square$ adecuada para el diseño que se propone. La Fig. 2 muestra el layout del atenuador de 5 dB mientras que la Fig. 3 presenta la simulación electromagnética de la estructura en un simulador 3D (CST Microwave Studio).

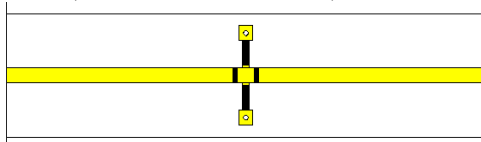


Fig. 2. Layout del atenuador microstrip de 5 dB. Dimensiones 10x2.5 mm².

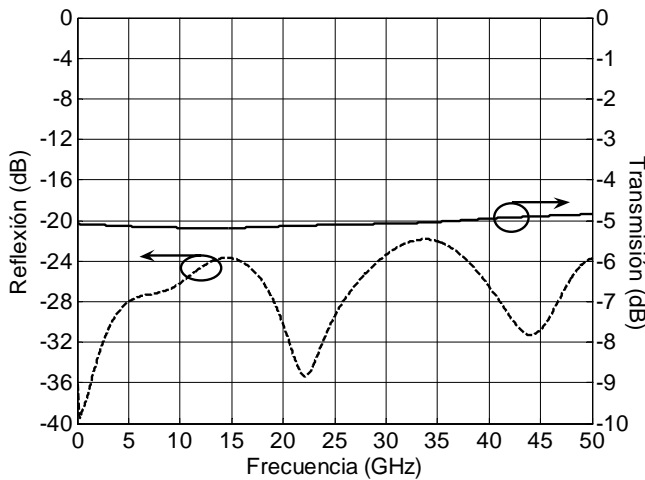


Fig. 3. Resultados de simulación electromagnética 3D del atenuador de 5 dB; transmisión en línea sólida; adaptación en línea discontinua.

B. Divisor de potencia en WR-28

El módulo posterior tiene dos entradas que corresponden a las componentes ortogonales (E_x y E_y) de la señal de entrada al sistema. Por otra parte, a la salida se requieren cuatro señales resultado de realizar operaciones matemáticas (correlaciones) entre estas señales. Por tanto, para poder hacer la transición entre dos entradas y cuatro salidas se han diseñado unos divisores de potencia que cubren toda la banda del receptor (26 – 36 GHz). Debido a la configuración del módulo posterior, el diseño se ha realizado en guía de onda (WR-28) con una estructura en plano-E, facilitando así la división de dicha estructura entre las dos tapas del módulo. La Fig. 4 muestra un esquema del diseño realizado.

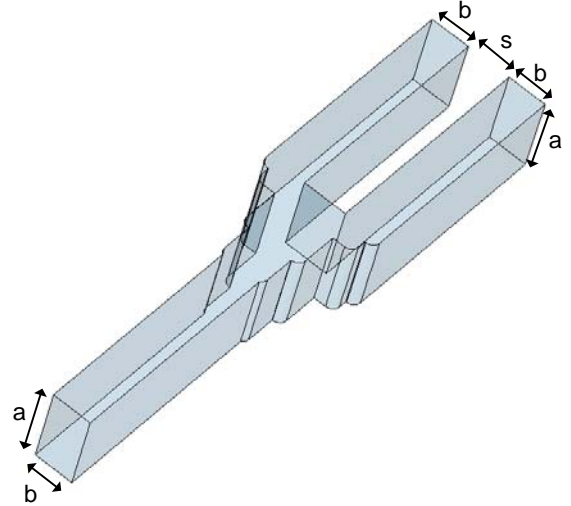


Fig. 4. Divisor de potencia en banda-Ka; $a = 7.1$, $b = 3.56$, $s = 4$ mm.

Este divisor de potencia ha sido mecanizado y medido en un bloque específico antes de ser integrado en el módulo posterior. De esta forma se comprueba su funcionamiento individual ya que una vez integrado no puede ser caracterizado. La Fig. 5 muestra los resultados de la medida junto con la simulación en un simulador electromagnético 3D (CST Microwave Studio).

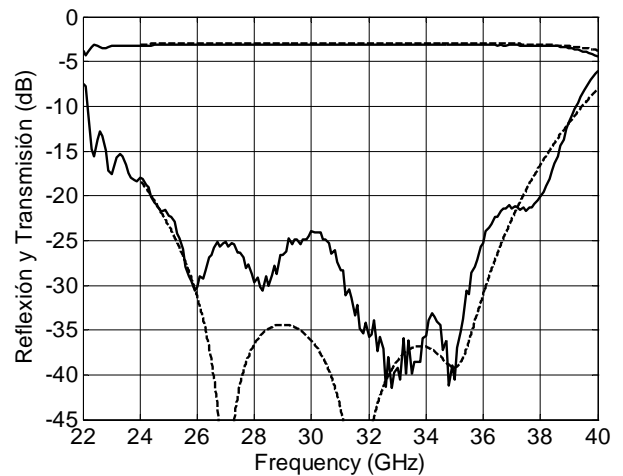


Fig. 5. Resultados del divisor de potencia en banda-Ka; simulación electromagnética 3D (línea discontinua), medida (línea sólida).

C. Desfasador 90° en WR-28

El cálculo de los diferentes parámetros de Stokes que definen la polarización de una onda electromagnética requiere que se realicen diferentes correlaciones entre las señales de entrada del sistema. En concreto, en la configuración definida para el experimento QUIJOTE en su fase II, es necesario que una de las ramas del módulo posterior introduzca un desfase adicional de 90° respecto a otra de las ramas tal y como puede verse en la Fig. 1.

Para conseguir realizar esta función se han diseñado dos desfasadores diferentes con el objetivo de ver cual ofrece mejores resultados tanto eléctricos como mecánicos, ya que estos diseños van a ser implementados en guía de onda. En el primer caso se trata de un desfasador realizado con corrugaciones o irises, el cual desfasa la señal respecto a una guía de onda recta de igual longitud física que el desfasador. En el segundo caso se ha diseñado un desfasador con stubs, el cual tiene como referencia una guía de onda recta de longitud ligeramente superior al desfasador. La Fig. 6 muestra el esquema de una caja diseñada para implementar ambas estructuras y así poder caracterizarlas y elegir.

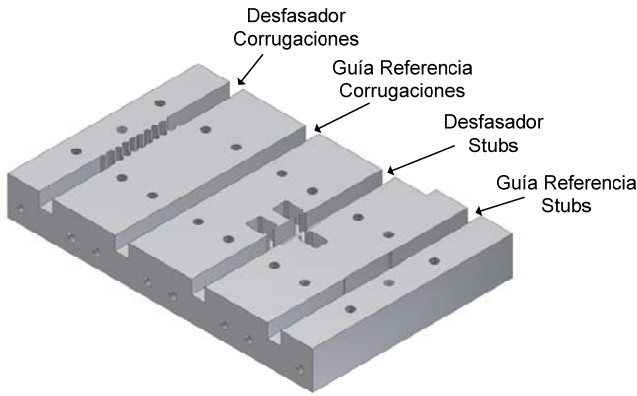


Fig. 6. Módulo diseñado para caracterizar los desfasadores.

En la Fig. 7 se muestran los resultados de simulación electromagnética 3D (CST Microwave Studio) de ambas estructuras desfasadoras.

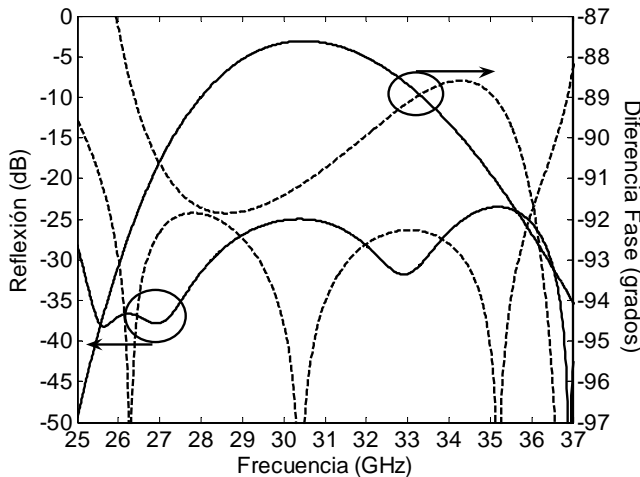


Fig. 7. Resultados de simulación de ambas estructuras desfasadoras; desfasador basado en corrugaciones (línea sólida) y desfasador basado en stubs (línea discontinua).

D. Conversión RF a DC

Finalmente, el módulo posterior ha de realizar la conversión de la potencia de la señal RF a tensión detectada en dc para posteriormente amplificar estas señales hasta los valores requeridos por el equipo de adquisición de datos. Esta conversión se realiza mediante un detector a diodo presentado anteriormente en [6].

En cuanto al amplificador de vídeo, se ha realizado mediante el circuito integrado OPA4227 el cual contiene cuatro amplificadores operacionales, siendo tres de ellos necesarios para implementar cada una de las cuatro salidas en forma diferencial tal y como se muestra en el esquema eléctrico de la Fig. 8.

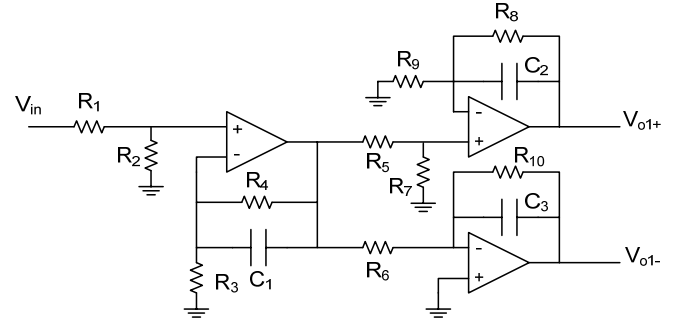


Fig. 8. Esquema eléctrico del amplificador de continua para cada una de las cuatro salidas del módulo posterior. La salida es en forma diferencial.

El funcionamiento del circuito de la Fig. 8 viene determinado por (1) y (2). En la última versión desarrollada de este circuito se está implementando un potenciómetro en la posición de R_4 para poder ajustar la ganancia total del circuito durante la fase final de ensamblado y calibración del instrumento.

$$V_{out+} = V_{in} \left[\frac{R_2(R_4 + R_3)}{R_3(R_1 + R_2)} \right] \left(1 + \frac{R_8}{R_9} \right) \quad (1)$$

$$V_{out-} = -V_{in} \left[\frac{R_2(R_4 + R_3)}{R_3(R_1 + R_2)} \right] \left(\frac{R_{10}}{R_6} \right) \quad (2)$$

Dados los problemas de ruido y oscilaciones detectados en circuitos similares en ocasiones anteriores, se ha caracterizado el ruido 1/f del circuito de la Fig. 8 para comprobar su buen funcionamiento. La Fig. 9 muestra el resultado de dicha caracterización en una de sus salidas.

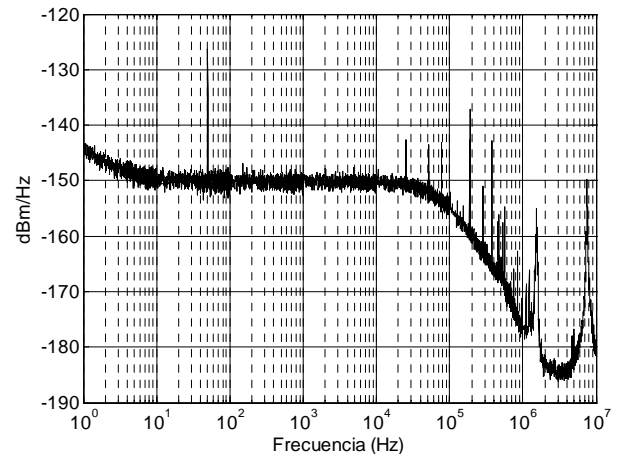


Fig. 9. Ruido a la salida del amplificador de dc. El mayor nivel de ruido corresponde con la señal de la red a 50 Hz.

III. INTEGRACIÓN

La integración de todos los subsistemas diseñados en los módulos correspondientes ha comenzado por el mecanizado del bloque correspondiente a los amplificadores de RF y los filtros, mientras que el diseño final del bloque de correlación y detección depende de la decisión que se adopte respecto al desfaseador 90° que está en fase de mecanizado. La Fig. 10 muestra una imagen virtual del aspecto que tendrá el módulo de amplificación y filtrado una vez esté ensamblado (se requieren dos módulos de este tipo para cada receptor).

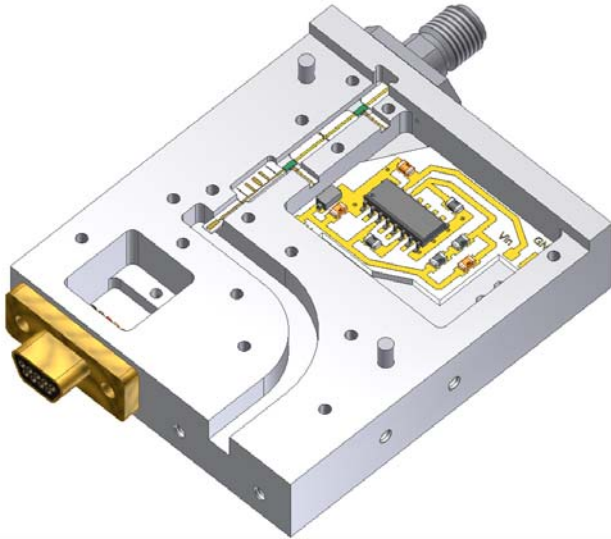


Fig. 10. Módulo de amplificación y filtrado ensamblado. Dimensiones 54x47x20 mm³ (incluida la tapa y excluidos los conectores)

El módulo de la Fig. 10 está diseñado con entrada en coaxial para facilitar su conexión con el resto del receptor dentro del instrumento, mientras que la salida es en WR-28 para su conexión directa con el divisor de potencia diseñado. Además, este módulo incluye un circuito de alimentación que permite proporcionar a los amplificadores de bajo ruido las tensiones de polarización adecuadas a partir de los +5 V disponibles en el instrumento.

IV. CONCLUSIONES

Se ha presentado el diseño de los diferentes subsistemas que componen el módulo posterior que se está desarrollando para el proyecto QUIJOTE en su segunda fase. Este nuevo módulo posterior presenta varias mejoras respecto al diseñado para la primera fase del proyecto. Estas mejoras incluyen la posibilidad de ajustar las ganancias del sistema tanto en RF como en dc y la obtención de cuatro salidas en vez de dos, lo cual redundará en una mayor información en cada instante temporal.

Pese a que el módulo todavía no está integrado, los resultados que se van obteniendo de cada uno de sus subsistemas son prometedores y hacen aumentar la confianza en un buen comportamiento final respecto a las especificaciones del proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación el apoyo para la realización de estos trabajos a través del programa de Astronomía y Astrofísica, referencia AYA2010-21766-C03-03.

Asimismo, los autores quieren hacer constar su agradecimiento a Eva Cuerno, Ana Pérez y Santiago Cembellín por los trabajos de montaje y mecanizado realizados.

REFERENCIAS

- [1] J.A. Rubiño-Martin *et al.*, "The Quijote CMB Experiment", *Proc. VIII Scientific Meeting of the Spanish Astronomical Society*, 7-11 Julio, Santander, 2008. arXiv:0810.3141v1
- [2] E. Artal *et al.*, "Cosmic microwave background polarization receivers: QUIJOTE experiment", *Proc. 40th European Microwave Conference*, 28-30 Septiembre, Paris, 2010. pp. 497-500.
- [3] J.L. Cano *et al.*, "The Ka-band receiver for the QUIJOTE experiment", aceptado para su publicación en *Proc. 41st European Microwave Conference*, 10-13 Octubre, Manchester, 2011.
- [4] J. Cagigas, E. Villa, E. Artal, R. Hoyland, "Híbrido 180° de banda ancha en tecnología microstrip a 31 GHz", *XXV Simp. Nacional URSI*, 15-17 Septiembre, Bilbao, 2010.
- [5] J.L. Cano, N. Wadefalk, J.D. Gallego, "Ultra-wideband chip attenuator for precise noise measurements at cryogenic temperatures", *IEEE Microw. Theory and Tech.*, vol. 58, no. 9, Sept. 2010, pp. 2504-2510.
- [6] J.L. Cano, B. Aja, E. Villa, L. de la Fuente, E. Artal, "Broadband back-end module for radio-astronomy applications in the Ka-band", *Proc. 38th European Microwave Conference*, 27-31 October, Amsterdam, 2008. pp. 1113-1116.